

Розділ 4. Техніко-економічні проблеми гірничого виробництва

УДК 622.22.553.4:519.85

<https://doi.org/10.37101/ftpgv25.01.009>

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОЦІНКИ СТОХАСТИЧНИХ СКЛАДОВИХ ВНУТРІШНЬОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ДЛЯ РОЗРОБКИ СТРАТЕГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ВУГЛЕПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ

О.П. Круковський¹, О.Р. Мамайкін^{2*}, В.Ю. Медяник², Р.К. Сидоренко²,
О.О. Мартиненко²

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

²Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

*Відповідальний автор: e-mail: mamaykin@yahoo.com

DEVELOPMENT OF THE STOCHASTIC COMPONENT ASSESSMENT MODEL INTERNAL POTENTIAL OF TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR THE DEVELOPMENT OF STRATEGIES FOR THE RESTORATION OF COAL INDUSTRY REGIONS

O.P. Krukovskiy¹, O.R. Mamaikin^{2*}, V.Yu. Medianyuk², R.K. Sydorenko²,
O.O. Martynenko²

¹Institute of Geotechnical Mechanics named of the M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

²Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: e-mail: mamaykin@yahoo.com

ABSTRACT

Purpose. To develop a new approach to the assessment of stochastic components of the internal potential of technological schemes of coal mines, which will allow to develop a methodology for the development of strategies for the restoration of coal mining regions.

Methods. A complex method is used, which involves the application of decision-making criteria in conditions of uncertainty; modeling the potential of the technological scheme based on the use of two criteria - the maximum EVA with the given possibilities of technological resources and the minimum production costs.

Findings. The task of forming the potential of mine technological schemes is reduced to the selection of factors that would most adequately reflect the main characteristic of the network of mining workings - an indicator of internal potential that characterizes the length and structure of mining workings, not as a functional dependence, but as an EVA (added value) parameter - consequences of the interaction of factors of coal mine activity in specific mining, geological and techno-

logical conditions. The formation of the internal potential of the mine's technological network is described by a multifactorial equation, the components of which are the labor productivity of the mining worker; annual progress of the cleaning line; the coefficient characterizing the length of the mine workings and the length of the cleaning line. In addition, the fact that the maximization of the indicator "internal technical potential" is achieved by minimizing the "ratio of throughput of technological links", "capacity limitation by factor" and "density of productive flows" is taken into account, respectively. If we consider or compare many different options, then the concept of "best" in terms of stochasticity is ambiguous and not absolute, it depends on what criterion is used to determine it. Let's assume that two criteria were adopted - the maximum production with the given possibilities of the resource potential and the minimum costs for production. It is obvious that the best option in the sense of the first criterion will not necessarily turn out to be the best according to the second criterion, for example, if an increase in the volume of production requires additional investments or subsidies. Thus, the concept of the "best" option is comparative or relative, since it is established only that, according to the selected criterion, this option is "better" than all those with which it was compared. But the number of considered variants is always limited, so the existence of one or more variants that are better than the accepted one is not excluded.

Originality. A model for estimating stochastic components of technological schemes has been developed. For this, two tasks were considered: 1) minimization of mining costs with a possible decrease in mine capacity in the current calculation period; 2) maximizing the level of production at a given resource potential. A decision-making algorithm was given for each of the models. All this in the complex made it possible to develop recommendations for the development of a methodology for the restoration of coal mining regions.

Practical implications. A complex decision support system is proposed, which includes a description of the decision-making algorithm and means of finding optimal solutions.

Keywords: technological scheme, parameter, task, efficiency, strategy

1. ВСТУП

Внаслідок повномасштабних військових дії на території нашої країни постав ряд викликів, які становлять загрозу національній безпеці. Серед цих викликів не тільки активні військові дії, які завдають збитків інфраструктурі країни, але і енергетичні та економічні чинники. До енергетичних чинників слід віднести здатність країни забезпечити себе паливними ресурсами, а до економічних – відновлення внутрішнього валового продукту, підвищення добробуту населення, налагодження нових економічних зв'язків – все це потребує врахувати промислову структуру та спеціалізацію регіонів. Існує також проблема диверсифікації діяльності вуглепромислових регіонів – це одне із першочергових завдань, яке в довгостроковій перспективі дозволить знизити соціальну напругу в регіонах де неможливо або недоцільно вести видобуток корисних копалин [1, 2, 3]. Саме тому в представленому дослідженні вирішується актуальна наукова задача, яка полягає в дослідженні стохастичних складових технологічних схем, що дозволить розробити стра-

тегії відновлення регіонів. Проблемами розробки підходів до дослідження складових внутрішніх резервів та їх відтворення шляхом оптимізації технологічних схем займалися провідні вчені України, Польщі, Сполучених Штатів Америки, Федеративної Республіки Німеччина, Бразилії, Польщі. В табл. 1 представлено загальний аналіз підходів.

Таблиця 1. Аналіз досліджень присвячених вирішенню проблеми відтворення внутрішніх резервів та оптимізації технологічних схем

Дослідники	Рік	Наукова новизна
Klippel A.F., Petter C.O., Antunes Jr, J.A.V. [4]	2008	Виділено основні аспекти інноваційної діяльності у гірничому виробництві та ресурси, якими слід управляти для досягнення поставленої мети
Bryant P. [5]	2015	Виділено ключові сили та тенденції, які формують загальну ефективність гірничого виробництва, що дозволило визначити основні показники, які в подальшому слід оптимізувати
Gruenhagen J.H., Parker R. [6]	2020	Проаналізовано відносини між суб'єктами та об'єктами інноваційного процесу, а також виділено основні напрямки інноваційної діяльності
Aznar-Sánchez J.A., et. al. [7]	2019	Визначено вплив інновацій на гірниче виробництво, а також основні причини неефективного впровадження їх у діяльність
Endl A., Tost M., et. al. [8]	2019	Розглянуто вплив інновацій не тільки на гірництво, але і на ситуацію в регіоні де ведеться видобуток
Gruenhagen, J.H [9]	2016	Виділено фізичні компоненти у виробництві, які сприяють ефективному відтворенню інновацій
Milanez B., de Oliveira J.A.P. [10]	2013	Розглянуто в комплексі вплив інноваційної діяльності на підприємствах, що дозволило зробити висновок, що саме групування підприємств за їх ознаками є найбільш правильним інструментом для впровадження інновацій

Проаналізувавши існуючі засоби та підходи можна зробити деякі узагальнення [4–10]:

- кожний із підходів базується на застосуванні великого масиву даних, проте існує проблема невизначеності критеріїв та різного ступеню впливу їх на загальну ефективність; саме тому слід розробити таку модель, яка буде враховувати варіативність параметрів та різний ступінь впливу їх на загальну ефективність;

- кожна із методик передбачає на стадії проектування вибір стратегії на основі власного досвіду, однак при розробці стратегії відновлення регіонів це невірно, адже можуть бути різні сценарії, щодо яких відсутні напрацювання.

Зрозуміло, що основною запорукою ефективного впровадження інновацій є комплексна, а саме головне, реальна оцінка діючих підприємств. Проаналі-

зуємо основні підходи щодо оцінки вугільних підприємств (табл. 2). Це дозволить нам сформулювати основні вимоги до розробки власної оцінки.

Таблиця 2. Основні підходи щодо оцінки вугледобувних підприємств

Дослідники	Рік	Наукова новизна
Zhang L., Wang J., Feng Y. [11]	2018	Запропоновано оцінювати ефективність за системою транспорту, за збагаченням та за впливом на екологію
Betrie G.D., et. al. [12]	2013	Застосовано MCDA метод оцінки
Bakhtavar E., et.al. [13]	2012	Застосовано цілочисельне програмування
Sabour S.A., Dimitrakopoulos R. [14]	2011	Застосовано стохастичні підходи щодо планування
Hrinov V.H., Khorolskyi A.A. [15]	2018	Застосовано мережеві моделі для оцінки та підвищення надійності
Krzak M. [16]	2013	Застосовано критерії прийняття рішень для оцінки шахт
Iphar M. [17]	2006	Застосовано метод нечітких множин для оцінки
Gonen A., et. al. [18]	2012	Застосовано динамічне моделювання для оцінки системи

Отже, із аналізу праць [11–18] можна сформулювати основні вимоги до інструментів прийняття рішень:

- по-перше, вказані інструменти повинні враховувати параметри мережі гірничих виробок, умови експлуатації, а також наявні обмеження;
- по-друге, вказаний інструмент повинен бути комплексним та безрозмірним, що дозволить його застосувати для групи підприємств;
- по-третє, основним критерієм, який відповідає за ефективність відтворення інновацій є надійність виробництва, тобто здатність вугледобувного підприємства забезпечувати вказаний рівень виробництва за заданих обмеженнях [19];
- по-четверте, необхідно моделювати відтворення показників роботи у відповідності до залученого рівня інвестицій [20].

Все це формує наукову та практичну цінність роботи.

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка моделі оцінки стохастичних параметрів технологічних схем є важливою науково-практичною задачею. Застосування вказаної моделі дозволить створити методологію розробки стратегій відновлення вуглепромислових регіонів нашої країни. Соціальне значення роботи полягає у зниженні соціальної напруги у регіонах де неможливо відновити або недоцільно вести видобуток вугілля, шляхом розробки стратегій диверсифікації. Для вирішення поставленої задачі необхідно:

- 1). Визначити характеристики ефективності виробництва. Аналіз показників ефективності технологічних схем вуглевидобутку й облік фактичної системи показників, що склалася, дозволяють розробити рекомендації, щодо

використання критеріїв оптимальності в організаційних завданнях оцінки потенціалу технологічної схеми шахти.

2). Запропонувати комплексний показник, який оцінює загальний рівень концентрації робіт підприємства в просторі. На основі цього будуть встановлені оптимальні параметри, спільний вплив яких дозволяє встановити межу, до якої можливе погіршення техніко-економічних показників шахт.

3). Розробити комплексний показник, щодо оцінки рівня залучення інвестицій, що дозволить визначити найбільш перспективні підприємства в рамках однієї юридичної особи.

Послідовне виконання кожного етапу дозволить отримати комплексне рішення, щодо оцінки параметрів та розробки стратегій відновлення вуглепромислових регіонів.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

За аналогією з теорією ігор і статичних рішень сукупність можливих значень вихідної інформації можна назвати станом природи. Воно розглядається як багатовимірна величина B , компонентами якої (b_1, b_2, \dots, b_n) є значення окремих вихідних даних, які характеризують конкретні умови.

Варіанти можна розглядати як вектор X , компонентами якого (x_1, x_2, \dots, x_n) є параметри та технічні рішення. Вибір оптимального варіанта зводиться до дослідження на екстремум цільової функції за прийнятим економічним критерієм. При цьому задача може бути зведена до мінімізації (максимізації) математичного очікування рівня економічного критерію. Для проведення ефективних і достовірних досліджень немає необхідності розглядати всю систему цілком. Досить розглянути одну з її підсистем. Ця вихідна підсистема повинна бути простою, відносно самостійною, мати структуру, властиву всій системі, і характеризувати її поведінку в цілому. Цим вимогам задовольняє підсистема «видобувна ділянка», що представляє собою два процеси: очисні роботи і роботи по приведенню запасів видобувних ділянок в ступінь готових до виїмки, що знаходяться в постійній взаємодії.

Підсистема «видобувна ділянка», прийнята до моделювання, включає також процеси по підвищенню надійності примикаючих виробок і дільничного транспорту. Ці процеси виконуються в міру інвестування та ув'язані між собою в часі і просторі. Підсистема «видобувна ділянка» володіє рисами, властивими всій системі «виробничий процес видобутку вугілля», але значно більш проста.

В умовах ринкових відносин, які останнім часом зайняли панівне становище в економіці України, ймовірність виконання намічених планів, у тому числі альтернативних, стає на один або два порядки нижче, ніж при централизованому плануванні. Цьому сприяє невизначеність самих ринкових відносин, при яких виникає конкуренція виробників, попит та пропозиція на вугільну продукцію часто не збігаються. Останнє визначає рівень видобутку і разом з ним посування лав, продуктивність праці, собівартість l т та ін.

Якщо до проблеми невизначеності при плануванні розвитку гірничих робіт підходити суто формально, тобто з математичної точки зору, то вона може бути представлена у вигляді нерозв'язної системи рівнянь, в якій число

невідомих перевищує кількість рівнянь. Ще одне чисто математичне порівняння дозволяє сказати, що гірничо-геологічні умови та умови, що накладаються змінністю потужності шахти, володіють необмеженою ступенем свободи невідомих змінних, які можуть змінюватися за обставинами в будь-яку (меншу або більшу) сторону на свій власний розсуд.

В математиці єдиним виходом з цієї ситуації є обмеження ступенів свободи об'єкта спостереження таким чином, щоб в кінцевому підсумку кількість рівнянь стало дорівнює кількості невідомих параметрів. Математично обмеження числа ступенів свободи об'єкта спостереження формалізується за допомогою зв'язування численних параметрів один з одним через різного роду коефіцієнти і функціональні залежності.

Можливі збіги результатів аналізу отримали назву «ризиків», під якими мається на увазі ймовірність відхилення намічених планів від реальних наслідків їх реалізації. При цьому інвестиційний ризик (найголовніша складова підтримки потужності шахти) має дві складові – ризик, пов'язаний з попитом на вугілля, і власне ризик конкретного проекту розвитку гірничих робіт. Найменший рівень ризику відповідає заходам, які розраховуються за стандартними математичними формулами, для яких використовується цілком певний набір техніко-економічних показників.

Як уже зазначалося, з точки зору управління потенціалом технологічних схем шахт розвиток шахти в часі і в просторі є об'єктивною необхідністю і спочатку обумовлено істотною властивістю вугільних пластів – їх невідтворюваністю. Все різноманіття конкретних форм розвитку окремих шахт можна звести до збереження або зміни потужності та зміна меж гірничого відводу, якщо передбачено об'єднання декількох шахт гірничими роботами. Не виключена тимчасова відмова від відпрацювання складних ділянок гірничого відводу чи видобутку вугілля з високою зольністю.

Необхідність такого виділення викликана переважанням певного комплексу робіт, відповідного цьому напрямку, оскільки збереження або зміна потужності пов'язана з виконанням комплексу робіт по простому підтриманню потужності або звуженому відтворенню (зменшенню потужності шахти). Зміна потужності обов'язково зачіпає всі або деякі основні технологічні процеси. Цьому можуть супроводжувати зміни інших елементів шахти і меж гірничого відводу, але вони підпорядковані головному напрямку, наприклад, намічене зниження або підтримання потужності шахти може мати своєю складовою частиною консервацію устаткування по якому-небудь елементу шахти.

Відмова від відпрацювання окремих ділянок шахтного поля має різні підстави: вичерпання запасів розроблюваних пластів, прагнення відпрацювати в близькій перспективі запаси вугілля в більш сприятливих умовах, напластах більшої потужності, більш витриманих по площі, в більш стійких бокових породах і т.д. Такому переходу завжди супроводжують зміни різних елементів шахти, зокрема, він позначається на підготовчих роботах, підземному транспорті, ремонті і підтриманні гірничих виробок, може бути, на схемах провітрювання. Істотним є й той факт, що цілі вимушеного регулювання потужності можуть бути неоднаковими і містити різні альтернативи. Зокрема, можна розглядати варіанти зниження

потужності шахти на 10-30% або варіанти застосування різного устаткування в очисних вибоях та ін. Різноманітні цілі та способи їх досягнення, завжди пов'язані з певними обсягами ресурсів і, отже, витратами на видобуток вугілля, тобто його собівартістю. З усього сказаного випливає, що розвиток шахти по будь-якому напрямку являє собою багатоваріантну задачу, в якій розглядаються різні ініціативи з відповідними наслідками, і звідси безпосередньо випливає необхідність знайти найкраще рішення.

Розглянемо деякі передумови, які необхідно враховувати при вирішенні питання про управління параметрами, що мають досить виражений стохастичний характер. Про вплив зміни критерію вже було сказано.

У цьому зв'язку, слід ще раз підкреслити важливість поняття «невизначеність» при моделюванні внутрішнього потенціалу технологічної схеми шахти. При цьому, під невизначеністю розуміється неповнота і (або) неточність інформації про умови реалізації розвитку гірничих робіт у просторі та часі, в тому числі про необхідні інвестиції та очікувані результати. Невизначеність, пов'язана з можливістю виникнення в ході зміни потужності підприємства несприятливих ситуацій і наслідків, характеризується поняттям ризику. Оскільки всі ці чинники повністю подолати не вдається, остільки про достовірність оцінки будь-якої зміни основних параметрів шахти можна говорити тільки у ймовірнісному плані: показники ефективності параметрів можуть бути визначені лише з певним ступенем достовірності. Звідси і природа ризиків на етапі перспективного планування відпрацювання запасів.

Очевидно, що техніко-економічні показники в результаті коливання потужності підприємства не можуть бути попередньо розраховані вичерпно точно. Тому, сама по собі велика величина розрахункового ефекту будь-якого інвестиційного проекту ще не говорить однозначно на користь його реалізації. Для прийняття кінцевого рішення необхідно розрахувати величину пов'язаного з ним ризику і порівняти її з розрахунковим ефектом. Поняття «розвиток шахти» може охоплювати шахту в цілому або зачіпати її окремі елементи, наприклад, підземний транспорт. У цьому випадку використання в якості цільової функції середньої собівартості по шахті в цілому за розрахунковий період, важко, так як на собівартість, крім підземного транспорту, впливають багато інших чинників. У цих випадках рекомендується замість собівартості приймати мінімум витрат за розрахунковий період.

Як було зазначено вище, моделювання потенціалу технологічної схеми передбачає використання двох критеріїв – максимум EVA при заданих можливостях технологічних ресурсів і мінімум витрат на видобуток. Розглянемо нижче математичну постановку задач оптимізації потенціалу технологічної схеми.

Задача 1 – мінімізація витрат на видобуток при можливому зниженні потужності шахти в даний розрахунковий період T . Знайти вектор $\alpha(L, V, P, S)^*$ такий, що

$$F(L, V, P, S) = \min_{\alpha} \bar{F}(L, V, P, S),$$

за умов:

$$\begin{aligned} f_1(L) - B_1 &\leq 0, \\ f_2(V) - B_2 &\leq 0, \\ f_3(P) - B_3 &\leq 0, \\ f_4(S) - B_4 &\leq 0, \\ D - \Delta D(L, V, P, S) &\leq 0, \end{aligned}$$

де $\beta \{L_{11}, L_{12}, \dots, L_{1T}, V_{21}, V_{22}, \dots, V_{2T}, P_{31}, P_{32}, \dots, P_{3T}, S_{41}, S_{42}, \dots, S_{4T}\}$ – вектор, перші компоненти якого $L_{11}, L_{12}, \dots, L_{1T}$ відповідають можливостям шахти регулювати довжину очисної лінії, наступні компоненти $V_{21}, V_{22}, \dots, V_{2T}$ – можливості шахти з регулювання посування лав, $P_{31}, P_{32}, \dots, P_{3T}$ можливості шахти з регулювання чисельності робочої сили в 1, 2, ..., T -му роках відпрацювання запасів і $S_{41}, S_{42}, \dots, S_{4T}$ – можливі ліміти зміни собівартості 1 т.

Функція $f_1(L) = \sum_{t=1}^T L_{1t}$ визначає витрати з підготовки очисної лінії.

Константа B_1 задає граничні можливості шахти по інвестиційним коштам.

Функція $f_2(V) = \sum_{t=1}^T V_{2t}$ визначає витрати, пов'язаними зі зміною швидкості

посування лав. Константа B_2 задає граничні можливості шахти з підготовки готових до виїмки запасів.

Функція $f_3(P) = \sum_{t=1}^T P_3$ визначає витрати шахти на оплату праці

робітників. Константа B_3 задає граничні можливості шахти оборотним засобам.

Функція $f_4(S) - B_4 \leq 0$ визначає витрати на 1 т при зміні обсягу видобутку. Константа B_4 задає граничні можливості шахти виручці від реалізації видобутого вугілля.

Функція $D(V, L, P, S) = \sum_{t=1}^T \Delta D_t(V, L, P, S)$ визначає заданий обсяг

видобутку по періодах планування і по групі шахт. Константа D задає мінімально-допустимий обсяг видобутку при заданому ресурсному потенціалі.

Задача 2 – максимізація рівня видобутку при заданому ресурсному потенціалі.

Знайти вектор $\beta(L, V, P, S)$ * такий, що

$$D(V, L, P, S) = \max_{\beta} \bar{D}(V, L, P, S),$$

при умовах

$$\begin{aligned} \Delta D_1(V) + D_1 &\geq D_i, \\ \Delta D_2(L) + D_2 &\geq D_i, \\ \Delta D_3(P) + D_3 &\geq D_i, \\ \Delta D_4(S) + D_4 &\geq D_i, \\ \sum D_i + \Delta D_i &= A \end{aligned}$$

Тут вектори V, L, P, S мають той же зміст, що і в задачі 1, але в даній моделі β_i представляє дію i ($i = 1, 2, \dots, n$) і ΔD – можливий стан ΔD_j ($j=1, 2, \dots, n$), то μ ($\beta_i, \Delta D_j$) описує відповідний результат. Функції відповідають цілям регулювання зміни потужності шахти з умовою забезпечення мінімального зниження потужності під впливом зниження ресурсного потенціалу. Умова вимагає дотримання рівності обсягів видобутку по окремим шахтам граничного значення A , заданого компанією (інвестором).

Припустимо $\beta \{L_{11}, L_{12}, \dots, L_{1T}, V_{21}, V_{22}, \dots, V_{2T}, P_{31}, P_{32}, \dots, P_{3T}, S_{41}, S_{42}, \dots, S_{4T}\}$ рішення задачі 1, а $\gamma \{L_{11}, L_{12}, \dots, L_{1T}, V_{21}, V_{22}, \dots, V_{2T}, P_{31}, P_{32}, \dots, P_{3T}, S_{41}, S_{42}, \dots, S_{4T}\}$ – рішення задачі 2.

Остаточне рішення залишається за інвестором, і якщо отримані рішення близькі, то відповідь очевидна. Якщо ж ні, то важлива обстановка зі збутом проти переваги зниження витрат або максимального збереження виробничого потенціалу. Якщо варіанти різняться в значній мірі необхідно застосувати критерії прийняття рішень в умовах невизначеності.

Дані, необхідні для прийняття рішень в умовах невизначеності, звичайно задаються у вигляді матриці, рядки якої відповідають можливим діям, а стовпчики – можливим станам системи. В даному випадку змінюється технологічний потенціал шахти за рівнем концентрації (V_1 - V_3), посуванням лав (L_1 - L_3), продуктивністю праці (P_1 - P_3) і витратами на 1 т (S_1 - S_3), тобто прийнята триступенева система регулювання. Кожному значенню параметрів V, L, P і S відповідає певна зміна рівня потужності ΔD_i . Таким, чином, кожен ступінь регулювання приносить свій результат у вигляді зміни потужності шахти.

Кожній дії і кожному можливому стану системи відповідає результат, що визначає виграш (або втрати) при виборі даної дії та реалізації даного стану. Таким чином, якщо β_i представляє дію i ($i=1, 2, \dots, m$) і ΔD представляє можливий стан ΔD_j ($j=1, 2, \dots, n$), то μ ($\beta_i, \Delta D_j$) описує відповідний результат. В загальному випадку μ ($\beta_i, \Delta D_j$) може бути безперервною функцією β_i і ΔD_j . В даному випадку ці параметри носять дискретний характер і можуть бути представлені у вигляді матриці.

Вид матриці при максимізації обсягів видобутку при даному потенціалі технологічних ресурсів представлений у табл. 3.

Зазначена побудова функціоналу і векторних обмежень до певної міри підпадає під вибір критеріїв прийняття рішень при невизначеності в припущенні, що ніякі ймовірності, ні характеристики в принципі не відомі. Тут можливий розгляд ситуації за критеріями Лапласа, мінімакса, Севіджа та Гурвіца.

Основна відмінність між зазначеними критеріями визначається стратегією поведінки менеджера, що приймає рішення в умовах відомої невизначеності в частині обсягів видобутку та коштів на підтримку потужності, недостатньо передбачуваних у випадку фінансової підтримки шахт з боку держави.

Мінімаксий критерій є найбільш обережним, оскільки він оснований на виборі найкращої з найгірших можливостей. Песимізм мінімаксного критерію можна згладити, застосувавши критерій Севіджа, передбачається введення нової матриці втрат. В ній $\eta(\gamma, \Delta D)$ замінюються $r(\gamma, \Delta D)$. Це означає, що $r(\gamma, \Delta D)$ – це різниця між найкращим значенням в стовпці ΔD і значенням $r(\gamma, \Delta D)$. По суті, $r(\gamma, \Delta D)$ виражає «жаль» інвестора, що приймає рішення, з приводу того, що він не вибрав найкращої дії щодо стану ΔD .

На жаль, не існує загальних правил оцінки застосування того чи іншого критерію, оскільки поведінка (часто змінювана) інвестора, приймаючого рішення, обумовлена невизначеністю ситуації, по всій видимості, є найбільш важливим фактором при виборі відповідного критерію. Перераховані вище критерії базуються на тому, що інвестору не протистоїть якийсь супротивник. У разі коли в ролі супротивника виступають природні фактори, немає підґрунтя припускати, що вони прагнуть свідомо заважати інвестору. Звичайно, зустрічаються ситуації, коли в ролі природного чинника виступає опонент (конкурент), інтереси якої суперечать інтересам інвестора. У такому випадку для побудови відповідного критерію потрібно підхід, заснований на поетапному моделюванні.

Таблиця 3. Матриця станів при максимізації обсягів видобутку

	ΔD_1	ΔD_2	ΔD_3	...	ΔD_n
V	$\beta(V_{11}, \Delta D_1)$	$\beta(V_{21}, \Delta D_2)$	$\beta(V_{21}, \Delta D_3)$	...	$\beta(V_{1n}, \Delta D_n)$
V	$\beta(V_{12}, \Delta D_1)$	$\beta(V_{22}, \Delta D_2)$	$\beta(V_{22}, \Delta D_3)$	...	$\beta(V_{2n}, \Delta D_n)$
V	$\beta(V_{13}, \Delta D_1)$	$\beta(V_{23}, \Delta D_2)$	$\beta(V_{23}, \Delta D_3)$	...	$\beta(V_{3n}, \Delta D_n)$
L	$\beta(L_{11}, \Delta D_1)$	$\beta(L_{21}, \Delta D_2)$	$\beta(L_{21}, \Delta D_3)$	...	$\beta(L_{1n}, \Delta D_n)$
L	$\beta(L_{12}, \Delta D_1)$	$\beta(L_{22}, \Delta D_2)$	$\beta(L_{22}, \Delta D_3)$	...	$\beta(L_{2n}, \Delta D_n)$
L	$\beta(L_{13}, \Delta D_1)$	$\beta(L_{23}, \Delta D_2)$	$\beta(L_{23}, \Delta D_3)$	...	$\beta(L_{3n}, \Delta D_n)$
P	$\beta(P_{11}, \Delta D_1)$	$\beta(P_{21}, \Delta D_2)$	$\beta(P_{21}, \Delta D_3)$	...	$\beta(P_{1n}, \Delta D_n)$
P	$\beta(P_{12}, \Delta D_1)$	$\beta(P_{22}, \Delta D_2)$	$\beta(P_{22}, \Delta D_3)$	...	$\beta(P_{2n}, \Delta D_n)$
P	$\beta(P_{13}, \Delta D_1)$	$\beta(P_{23}, \Delta D_2)$	$\beta(P_{23}, \Delta D_3)$	...	$\beta(P_{3n}, \Delta D_n)$
S	$\beta(S_{11}, \Delta D_1)$	$\beta(S_{21}, \Delta D_1)$	$\beta(S_{21}, \Delta D_3)$	...	$\beta(S_{1n}, \Delta D_n)$
S	$\beta(S_{12}, \Delta D_1)$	$\beta(S_{22}, \Delta D_1)$	$\beta(S_{22}, \Delta D_3)$	...	$\beta(S_{2n}, \Delta D_n)$
S	$\beta(S_{13}, \Delta D_1)$	$\beta(S_{33}, \Delta D_1)$	$\beta(S_{33}, \Delta D_3)$	...	$\beta(S_{3n}, \Delta D_n)$

Припустимо тепер, що коефіцієнти у виразі для цільової функції є випадковими величинами, причому значення всіх керованих змінних X_j потрібно визначити в умовах відсутності інформації про те, які значення будуть в дійсності приймати C_j . Така ситуація в реальних умовах виникає при рішенні задачі перспективного планування відпрацювання запасів шахт, коли підготовлювані запаси мають численні дрібно амплітудні порушення, обсяг реалізації видобутого вугілля визначається в майбутні ціни реалізації, які залежать від слабо передбачуваних змін якості гірської маси і майбутня

вартість матеріалів та енергії в момент розробки плану строго не відомі. Припускаємо також, що оскільки всі коефіцієнти A_{ij} , а також обмеження по ресурсах B_{ij} визначені однозначно, вибір допустимих значень X_j можливий. Якщо значення X_j підлягають визначенню при відсутності точної інформації щодо значень C_j , то рішення

$$E[\sum_{j=1}^n C_j X_j \rightarrow \max].$$

При обмеженнях, що задаються значеннями змінних X_j , що задовольняють умові:

$$\sum_{j=1}^n E[C_j] X_j \rightarrow \max$$

Таким чином, якщо коефіцієнти при невідомих у функції мети не залежать від вибору значень керованих змінних, то оптимальне рішення може бути знайдене шляхом вирішення еквівалентної детерміністичної моделі з очікуваними значеннями відповідних коефіцієнтів у функціоналі завдання.

4. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Алгоритм побудови двокрокової стохастичної оптимізаційної моделі припускає наступні припущення:

1. Значення випадкових величин не залежать від X_j .
2. Значення X_j повинні фіксуватися на першому кроці до того, як стануть відомими фактичні значення, що приймаються випадковими величинами.
3. Система обмежень містить тільки змінні першого кроку, причому відповідні значення A_{ij} і B_{ij} є відомими.
4. Завжди існують допустимі значення інших змінних X_j , обраних на другому кроці. Значення цих змінних підлягають визначенню після того, як стають відомими фактичні значення всіх випадкових величин.
5. Існує кінцеве число Q можливих комбінацій значень C_j , A_{ij} і B_{ij} ; стани, що визначаються ними позначимо через C_{qj} , A_{qij} , B_{qij} , а ймовірності їх появи P_q .

При такій постановці завдання оптимальні правила прийняття рішення можуть бути отримані в результаті вирішення наступної задачі:

перший крок

$$\sum_{j=1}^k A_{ij} X_j \leq B_i, i = 1, 2, \dots, q$$

другий крок

$$\sum_{j=1}^k Aq_{ij}X_j + \sum_{j=k+1}^n Aq_{ij}Xq_j \leq Bq_i$$

при обмеженнях

$$\begin{array}{ll} i = q + 1, \dots, m; & q = 1, 2, \dots, Q, \\ X_j \geq 0 & j = 1, 2, \dots, n, \\ Xq_j \geq 0 & j = 1, 2, \dots, n, q = 1, 2, \dots, Q. \end{array}$$

У моделі передбачається, що до моменту вибору значень керованих змінних на другому кроці фактичні значення всіх випадкових величин повинні бути відомими. При практичному використанні наведеної економіко-математичної моделі припустимо наявність ймовірнісних обмежень.

Запропонована модель з ймовірнісними обмеженнями володіє двома позитивними якостями. По-перше, вона зводиться до еквівалентної задачі лінійного програмування, що має ту ж розмірність і таку ж структуру, що і детерміністський аналог вихідної моделі. Отже, після належного визначення всіх констант, що стоять в правих частинах співвідношень, обчислювані процедури, пов'язані з перебуванням оптимального рішення для стохастичної моделі, відповідають тим, що виконуються для детерміністського аналога. По-друге, щодо випадкових величин B_i потрібно знати значення констант β , що представляють собою ймовірність виконання відповідних обмежень по ресурсах, тобто:

$$P \left[\sum_{j=1}^k A_{ij} X_{ij} \leq B_i \right] \geq \beta_i$$

У силу зазначених властивостей, моделі з ймовірнісними обмеженнями вигідно відрізняються від двокрокових моделей з ймовірнісними характеристиками коефіцієнтів функціонала.

Таким чином, в цьому дослідженні запропоновано модель оцінки стохастичних складових технологічних схем. Вказана модель дозволяє вирішувати ряд задач, які дозволять розробити стратегію відновлення вуглепромислових регіонів. В таблиці 4 наведено результати дослідження із розробки моделі відновлення вуглепромислових регіонів.

Техніко-економічні показники в результаті коливання потужності підприємства не можуть бути попередньо розраховані вичерпно точно. Для прийняття кінцевого рішення пропонується розрахувати величину пов'язаного з ним ризику і порівняти її з розрахунковим ефектом. У цьому випадку в роботі використано два критерії – максимум EVA при заданих можливостях технологічних ресурсів і мінімум витрат на видобуток.

Таблиця 4. Результати дослідження із розробки моделі оцінки стохастичних складових вугільних шахт для відновлення вуглепромислових регіонів

Задача	Мінімізація витрат на видобуток при можливому зниженні потужності шахти в даний розрахунковий період	Максимізація рівня видобутку при заданому ресурсному потенціалі
Суть задачі	Знайти баланс між вихідними потоками ресурсів	Побудова функціоналу і векторних обмежень на основі критеріїв прийняття рішень при невизначеності (в припущенні, що ніякі ймовірності, ні характеристики в принципі не відомі).
Математичний опис	Мінімізація витрат для кожного продуктивного потоку (породи, вугілля, газу, води)	Функції відповідають цілям регулювання зміни потужності шахти з умовою забезпечення мінімального зниження потужності під впливом зниження ресурсного потенціалу. Умова вимагає дотримання рівності обсягів видобутку по окремим шахтам граничного значення A , заданого компанією (інвестором).
Стратегія відновлення вуглепромислових регіонів	Необхідно знайти баланс між продуктивними потоками для різних етапів розвитку і функціонування підприємства. Це дозволить диверсифікувати діяльність.	Необхідно застосувати критерії прийняття рішень в умовах невизначеності. Після цього, коли буде отримана стратегія слід оптимізувати параметри на основі алгоритмів оптимізації та динамічного програмування.
Комплексні рішення	1. Модель співвідношення і оптимізації продуктивних потоків [21]. 2. Виробнича функція Кобба-Дугласа [22]. 3. Модель Солоу-Свайна для оцінки рівня інновацій [23].	1. Критерії прийняття рішень в умовах невизначеності: Севіджа, Гурвіча, Лапласа, Вальда. 2. Алгоритми оптимізації: Флойда-Воршалла, Дейкстри, Беллмана.

5. ВИСНОВКИ

В запропонованому дослідженні представлено результати розробки моделі оцінки стохастичних складових технологічних схем. Для цього було розглянуто дві задачі: 1) мінімізації витрат на видобуток при можливому зниженні потужності шахти в даний розрахунковий період; 2) максимізації рівня видобутку при заданому ресурсному потенціалі. Для кожної із моделей було наведено алгоритм прийняття рішень. Все це в комплексі дозволило розробити рекомендації із розробки методології відновлення вуглепромислових регіонів. Принциповим є питання про визначення мети моделювання, тобто постановки тієї проблеми, яка повинна бути вирішена. Якщо розглядати або порівнювати між собою безліч різних варіантів, то поняття «кращий» в умовах стохастичності неоднозначно і не абсолютно, воно залежить від того, за яким критерієм визначається. Припустимо, що були прийняті два критерії – максимум видобутку при заданих можливостях ресурсного потенціалу і мінімум витрат на видобуток. Очевидно, що найкращий варіант в сенсі першого критерію не обов'язково виявиться кращим і за другим критерієм, наприклад, якщо збільшення обсягу видобутку вимагає додаткових інвестицій або субсидій. Таким чином, поняття «кращого» варіанту є порівняльним або відносним, оскільки встановлюється лише те, що за обраним критерієм цей варіант «краще» всіх, з якими він порівнювався. Але число розглянутих варіантів завжди обмежено, тому не виключено існування одного або декількох варіантів, які краще прийнятого.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ащеулова, О.М., Хорольський, А.О., Фомичова, Л.Я., & Почепов, В.М. (2022). *Моделі та методи дослідження внутрішніх резервів вугледобувних підприємств*, 237 с.
2. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Sheka, I., & Sachko, R. (2023, April). Results of research on the stability of mine workings, fixed by arched supports made of composite materials, in the conditions of the Pokrovske Mine Administration. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1156, No. 1, p. 012011). IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/1156/1/012011
3. Bondarenko, V. I., Kovalevska, I. A., Symanovych, H. A., Sachko, R. M., & Sheka, I. V. (2023, October). Integrated research into the stress-strain state anomalies, formed and developed in the mass under conditions of high advance velocities of stope faces. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1254, No. 1, p. 012062). IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/1254/1/012062
4. Klippel, A.F., Petter, C.O., & Antunes Jr, J.A.V. (2008). Management Innovation, a way for mining companies to survive in a globalized world. *Utilities Policy*, 16(4), 332-333.
5. Bryant, P. (2015). *The case for innovation in the mining industry*. Clareo. Chicago, EUA, 14.
6. Gruenhagen, J.H., & Parker, R. (2020). Factors driving or impeding the diffusion and adoption of innovation in mining: A systematic review of the literature. *Resources Policy*, 65, 101540.
7. Aznar-Sánchez, J.A., Velasco-Muñoz, J.F., Belmonte-Ureña, L.J., & Manzano-Agugliaro, F. (2019). Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research assessment. *Journal of Cleaner Production*, 221, 38-54.

8. Endl, A., Tost, M., Hitch, M., Moser, P., & Feiel, S. (2019). Europe's mining innovation trends and their contribution to the sustainable development goals: Blind spots and strong points. *Resources Policy*, 101440.
9. Gruenhagen, J. H., & Parker, R. (2020). Factors driving or impeding the diffusion and adoption of innovation in mining: A systematic review of the literature. *Resources policy*, 65, 101540. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101540>
10. Milanez, B., & de Oliveira, J.A.P. (2013). Innovation for sustainable development in artisanal mining: Advances in a cluster of opal mining in Brazil. *Resources Policy*, 38(4), 427-434.
11. Zhang, L., Wang, J., & Feng, Y. (2018). Life cycle assessment of opencast coal mine production: a case study in Yimin mining area in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8475-8486.
12. Betrie, G.D., Sadiq, R., Morin, K.A., & Tesfamariam, S. (2013). Selection of remedial alternatives for mine sites: A multicriteria decision analysis approach. *Journal of environmental management*, 119, 36-46.
13. Bakhtavar, E., Shahriar, K., & Mirhassani, A. (2012). Optimization of the transition from open-pit to underground operation in combined mining using (0-1) integer programming. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 112(12), 1059-1064.
14. Sabour, S.A., & Dimitrakopoulos, R. (2011). Incorporating geological and market uncertainties and operational flexibility into open pit mine design. *Journal of Mining Science*, 47(2), 191-201.
15. Hrinov, V.G., Khorolskyi A.A. Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering, 2018. Vol. 60. pp. 1-10.
16. Krzak M. (2013). The Evaluation Of An Ore Deposit Development Prospect Through Application Of «The Games Against Nature» Approach. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 30(6),. 1350029.
17. Iphar, M. E. L. Ī. H., & Goktan, R. M. (2006). An application of fuzzy sets to the diggability index rating method for surface mine equipment selection. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 43(2), 253-266.
18. Gonen, A., Malli, T., & Kose, H. (2012). Selection of ore transport system for a metalliferous underground mine. *Archives of Mining Sciences*, 57(3), 779-785.
19. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. In *E3S Web of Conferences (Vol. 201, p. 01030)*. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101030>
20. Bazaluk O, Ashcheulova O, Mamaikin O, Khorolskyi A, Lozynskyi V and Saik P (2022) Innovative Activities in the Sphere of Mining Process Management. *Front. Environ. Sci.* 10:878977 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.878977>
21. Salli, S., Pochepov, V., & Mamaykin, O. (2014). Theoretical aspects of the potential technological schemes evaluation and their susceptibility to innovations. In *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining* (pp. 491-496)
22. Хорольський А.О., Почепов В.М., Лапко В.В., Салі В.С., Мамайкін О.Р. (2021). Розробка моделі оптимізації параметрів вугільних шахт в умовах диверсифікації. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (64), 99-111. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.099>
23. Хорольський А.О., Френцель Е.В., Мамайкін О.Р. (2021). Розробка моделі відтворення внутрішніх резервів вугільних шахт. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (65), 77-87. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.077>

REFERENCES

1. Ashcheulova, O.M., Khorolskyi, A.O., Fomychova, L.Ya., & Pochevov, V.M. (2022). *Models and methods of research of internal reserves of coal mining enterprises*, 237 p.
2. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Sheka, I., & Sachko, R. (2023, April). Results of research on the stability of mine workings, fixed by arched supports made of composite materials, in the conditions of the Pokrovske Mine Administration. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1156, No. 1, p. 012011). IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/1156/1/012011
3. Bondarenko, V. I., Kovalevska, I. A., Symanovych, H. A., Sachko, R. M., & Sheka, I. V. (2023, October). Integrated research into the stress-strain state anomalies, formed and developed in the mass under conditions of high advance velocities of stope faces. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1254, No. 1, p. 012062). IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/1254/1/012062
4. Klippel, A.F., Petter, C.O., & Antunes Jr, J.A.V. (2008). Management Innovation, a way for mining companies to survive in a globalized world. *Utilities Policy*, 16(4), 332-333.
5. Bryant, P. (2015). The case for innovation in the mining industry. Clareo. Chicago, EUA, 14.
6. Gruenhagen, J.H., & Parker, R. (2020). Factors driving or impeding the diffusion and adoption of innovation in mining: A systematic review of the literature. *Resources Policy*, 65, 101540.
7. Aznar-Sánchez, J.A., Velasco-Muñoz, J.F., Belmonte-Ureña, L.J., & Manzano-Agugliaro, F. (2019). Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research assessment. *Journal of Cleaner Production*, 221, 38-54.
8. Endl, A., Tost, M., Hitch, M., Moser, P., & Feiel, S. (2019). Europe's mining innovation trends and their contribution to the sustainable development goals: Blind spots and strong points. *Resources Policy*, 101440.
9. Gruenhagen, J. H., & Parker, R. (2020). Factors driving or impeding the diffusion and adoption of innovation in mining: A systematic review of the literature. *Resources policy*, 65, 101540. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101540>
10. Milanez, B., & de Oliveira, J.A.P. (2013). Innovation for sustainable development in artisanal mining: Advances in a cluster of opal mining in Brazil. *Resources Policy*, 38(4), 427-434.
11. Zhang, L., Wang, J., & Feng, Y. (2018). Life cycle assessment of opencast coal mine production: a case study in Yimin mining area in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8475-8486.
12. Betrie, G.D., Sadiq, R., Morin, K.A., & Tesfamariam, S. (2013). Selection of remedial alternatives for mine sites: A multicriteria decision analysis approach. *Journal of environmental management*, 119, 36-46.
13. Bakhtavar, E., Shahriar, K., & Mirhassani, A. (2012). Optimization of the transition from open-pit to underground operation in combined mining using (0-1) integer programming. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 112(12), 1059-1064.
14. Sabour, S.A., & Dimitrakopoulos, R. (2011). Incorporating geological and market uncertainties and operational flexibility into open pit mine design. *Journal of Mining Science*, 47(2), 191-201.
15. Hrinov, V.G., Khorolskyi A.A. Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering, 2018. Vol. 60. pp. 1-10.
16. Krzak M. (2013). The Evaluation Of An Ore Deposit Development Prospect Through Application Of «The Games Against Nature» Approach. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 30(6),. 1350029.

17. Iphar, M. E. L. İ. H., & Goktan, R. M. (2006). An application of fuzzy sets to the diggability index rating method for surface mine equipment selection. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 43(2), 253-266.
18. Gonen, A., Malli, T., & Kose, H. (2012). Selection of ore transport system for a metalliferous un-derground mine. *Archives of Mining Sciences*, 57(3), 779-785.
19. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 201, p. 01030). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101030>
20. Bazaluk O, Ashcheulova O, Mamaikin O, Khorolskyi A, Lozynskyi V and Saik P (2022) Innovative Activities in the Sphere of Mining Process Management. *Front. Environ. Sci.* 10:878977 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.878977>
21. Salli, S., Pochepov, V., & Mamaykin, O. (2014). Theoretical aspects of the potential technological schemes evaluation and their susceptibility to innovations. In *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining* (pp. 491-496)
22. Khorolskyi A.O., Pochepov V.M., Lapko V.V., Sali V.S., Mamaykin O.R. (2021). Rozrobka modeli op-tymizatsiyi parametriv vuhil'nykh shakht v umovakh dyversyfikatsiyi. *Zbirnyk naukovykh prats' Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, (64), 99-111. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.099>
23. Khorolskyi A.O., Frentsel E.V., Mamaykin O.R. (2021). Rozrobka modeli vidtvorennya vnutrishnikh rezerviv vuhilnykh shakht. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, (65), 77-87. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.077>

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Розробити новий підхід, щодо оцінки стохастичних складових внутрішнього потенціалу технологічних схем вугільних шахт, що дозволить розробити методологію розробки стратегій відновлення вуглепромислових регіонів.

Методика. Використано комплексний метод, який передбачає застосування критерії прийняття рішень в умовах невизначеності; моделювання потенціалу технологічної схеми на основі використання двох критеріїв – максимум EVA при заданих можливостях технологічних ресурсів і мінімум витрат на видобуток.

Результати. Задача формування потенціалу технологічних схем шахт зводиться до відбору факторів, які б найбільш адекватно відображали головну характеристику мережі гірничих виробок – показник внутрішнього потенціалу, що характеризує протяжність і структуру гірничих виробок, не як функціональну залежність, а як параметр EVA (додана вартість) – сліdstва взаємодії факторів діяльності вугільної шахти в конкретних гірничо-геологічних і технологічних умовах. Формування внутрішнього потенціалу технологічної мережі шахти описується багатофакторним рівнянням, складові якого продуктивність праці робітника з видобутку; річне посування очисної лінії; коефіцієнт, що характеризує протяжність гірничих виробок і довжину очисної лінії. Крім того, враховано той факт, що максимізація показника «внутрішній технічний потенціал» досягається при мінімізації «співвідношення пропускної здатності технологічних ланок», «обмеженості потужності по фактору» і «щільністю продуктивних потоків», відповідно. Якщо розглядати або порівнювати між собою безліч різних варіантів, то поняття «кращий» в умовах стохастичності неоднозначно і не абсолютно, воно залежить від

того, за яким критерієм визначається. Припустимо, що були прийняті два критерії – максимум видобутку при заданих можливостях ресурсного потенціалу і мінімум витрат на видобуток. Очевидно, що найкращий варіант в сенсі першого критерію не обов'язково виявиться кращим і за другим критерієм, наприклад, якщо збільшення обсягу видобутку вимагає додаткових інвестицій або субсидій. Таким чином, поняття «кращого» варіанту є порівняльним або відносним, оскільки встановлюється лише те, що за обраним критерієм цей варіант «краще» всіх, з якими він порівнювався. Але число розглянутих варіантів завжди обмежено, тому не виключено існування одного або декількох варіантів, які краще прийнятого.

Наукова новизна. Розроблено модель оцінки стохастичних складових технологічних схем. Для цього було розглянуто дві задачі: 1) мінімізації витрат на видобуток при можливому зниженні потужності шахти в даний розрахунковий період; 2) максимізації рівня видобутку при заданому ресурсному потенціалі. Для кожної із моделей було наведено алгоритм прийняття рішень. Все це в комплексі дозволило розробити рекомендації із розробки методології відновлення вуглепромислових регіонів.

Практична значимість. Запропоновано комплексну систему підтримки рішень, що передбачає опис алгоритму прийняття рішень та засоби пошуку оптимальних рішень.

Ключові слова: технологічна схема, параметр, задача, ефективність, стратегія

ABOUT AUTHORS

Krukovskiy Olexandr, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Deputy Director of the institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: igtm@ukr.net

Mamaikin Olexandr, Candidate of Technical Science, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: mamaykin@yahoo.com

Mediannyk Volodymyr, Candidate of Technical Science, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: mamaykin@yahoo.com

Sydorenko Roman, Postgraduate Student, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: mamaykin@yahoo.com

Martynenko Oleksii, Postgraduate Student, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: mamaykin@yahoo.com